

DISTRIBUZIONE DEI RADIONUCLIDI NELL'AMBIENTE MARINO
ANTISTANTE LA CENTRALE NUCLEARE DEL GARIGLIANO (1)

A. Bruschi, O. Lavarello, C. Papucci, G. Raso, M. Riccomini,
S. Sgorbini, G. Zurlini (2)

- (1) Lavoro svolto nell'ambito del contratto N° BIO-B-322-I (S) del programma Radioprotezione della Commissione delle Comunità Europee.
- (2) CNEN-Laboratorio Studio Ambiente Marino, Fiascherino (SP).

Introduzione

Dal Maggio 1980 all'Ottobre 1981 si sono svolte diverse campagne radioecologiche nel sito del Garigliano, dove dal 1964 al 1978 è rimasta in produzione una centrale elettronucleare da 160 MWe, con lo scopo di determinare i livelli di radioattività ambientale nell'ecosistema terrestre e in quello marino, e di discriminare gli apporti dovuti all'esercizio dell'impianto. A queste campagne, che rientrano nei compiti istituzionali del CNEN, hanno partecipato varie unità operative sia del CNEN che di altri Enti di Ricerca (CNR per la fisica oceanografica, l'Istituto Donegani/Montedison per la sedimentologia, la microbiologia, la chimica e chimico-fisica dei sedimenti). Il Laboratorio per lo Studio dell'Ambiente Marino si è occupato della distribuzione dei radionuclidi in mare e nel fiume Garigliano. Vengono qui riportati i risultati dell'indagine a mare relativa alla campagna 1980.

Il piano di campionamento negli ecosistemi fluviale e marino ha tenuto conto degli apporti di radionuclidi dovuti agli scarichi della centrale, alle ricadute delle esplosioni nucleari e al dilavamento dei bacini imbriferi del Garigliano e del Volturno, con lo scopo di tentare una discriminazione tra i tre apporti. La zona coperta va dal Circeo al Volturno e dalla riva alla batimetrica dei 100 metri (circa 1100 km²) (Fig. 1), con particolare riguardo al campionamento negli ambienti a minore energia idrodinamica, più soggetti ai fenomeni di accumulo dei radionuclidi. Fra le matrici biologiche si è cercato di campionare in primo luogo quelle che hanno maggiori interazioni con il substrato (popolamenti ittici e cefalopodi bentonici, lamellibranchi, echinodermi e fanerogame). Anche nel fiume si è proceduto ad un infittimento dei prelievi nei punti di minore idrodinamismo, soprattutto nell'asta terminale, dove più elevate sono le possibilità di deposizione delle particelle sottili, e al campionamento di macrofite ad alto rapporto superficie/biomassa.

La zona compresa tra il Circeo e il Volturno presenta due dei sei tipi morfologici fondamentali caratteristici delle coste italiane (1): 1) rilievi montuosi con coste articolate e situazioni di golfo (Gaeta, Terracina); 2) una estesa area di pianura alluvionale dalla foce del Garigliano

fino a Capo Miseno, con situazioni distinte di foce, di stagni e lagune, relitti di specchi d'acqua retrodunari originariamente continui per tutta l'area considerata. La morfologia sottomarina, caratterizzata da fondi sabbiosi, appare invece piuttosto uniforme, con profili batimetrici regolari. Le formazioni litologiche gravitanti sull'area esaminata sono rocce carbonatiche nella parte settentrionale e formazioni vulcaniche nella parte centro-meridionale. Il diverso contributo di sedimenti delle due formazioni litologiche è una causa delle diverse diluizioni nei sedimenti dei radioisotopi trasportati dai due fiumi. Anche i popolamenti bentonici marini della zona risentono della presenza delle acque dolci dei due fiumi: infatti per un buon tratto di costa, dalla foce fino alla batimetrica dei 30 m, si ritrovano popolamenti tipici di ambienti con ampia variabilità (*Spisula subtruncata*). A batimetriche più elevate, ed all'interno del Golfo di Gaeta, i popolamenti bentonici sono dominati sia numericamente che come biomassa da policheti e anfipodi. Il necton (pesci, cefalopodi) è simile a quello reperibile nel medio e basso Tirreno, con una maggiore presenza, rispetto a questi ultimi, delle forme eurialine, data l'influenza del Garigliano e del Volturno. Nella zona non sono generalmente presenti estese praterie di fanerogame data anche l'intensa attività di pesca a strascico. Popolamenti di una certa consistenza si ritrovano in acque poco disturbate nel golfo di Scauri e Gaeta, anche su batimetriche di qualche metro. Questi insediamenti sono importanti per l'"effetto-barriera" nei confronti delle particelle sottili, cui sono associati i radionuclidi.

L'ambiente fluviale preso in considerazione (ultimi 15 km) è caratterizzato dalla notevole portata in ogni stagione e non sono infrequenti piene, anche di una certa rilevanza, nei mesi autunnali ed invernali. La ridotta sezione dell'alveo fa aumentare di molto la velocità della corrente, tranne negli ultimi due chilometri, dove il ridotto idrodinamismo favorisce la deposizione di particelle più sottili e quindi l'accumulo di radionuclidi. È la zona dove più estesa è l'attività di pesca.

Materiali e metodi

Sono stati prelevati 160 campioni di sedimenti e sabbie, bivalvi, pesci e cefalopodi, alghe e macrofite fluviali, fanerogame marine. I sistemi di prelievo, di pretrattamento e trattamento dei campioni sono standardizzati e già descritti nei risultati di precedenti campagne radioecologiche su altri siti nucleari (4). Le misure sono effettuate con rivelatori al Ge (Li) di 50 cm³, con efficienza del 15 % e risoluzione 2 KeV. I campioni, misurati in media per 24 ore, vengono spettrati con un sistema LABEN a 2048 canali, analizzando un intervallo di energia compresa tra i 75 e i 1900 KeV. Dopo l'acquisizione, lo spettro è elaborato automaticamente per la ricerca dei picchi significativi ed il riconoscimento del nuclide associato. Per i nuclidi rico-

nosciuti vengono espresse le concentrazioni e gli errori associati. Una tecnica di analisi multivariata, l'analisi fattoriale delle corrispondenze (2), é stata applicata sulla matrice di 7 variabili per 43 campioni di sedimento marino (Fig. 2). Le variabili erano 5 radionuclidi, la batimetria relativa ai diversi campioni ed un indice di influenza fluviale. Il vantaggio piú evidente del metodo consiste nel ridurre la dimensionalit  dei dati avendo una rappresentazione simultanea sul piano fattoriale sia delle variabili che dei campioni.

Risultati

I radionuclidi artificiali γ -emettitori misurabili sistematicamente nell'ambiente marino considerato sono il ^{137}Cs ed il ^{60}Co . Di questi, il ^{60}Co per la sua origine locale e per la sua elevata capacit  di essere rapidamente fissato nei sedimenti, pu  essere utilizzato come tracciante della concentrazione dovuta alla centrale. La distribuzione dei due radionuclidi nei sedimenti (Figg. 3 e 4) risulta essere inversamente associata alla granulometria e segue il destino sedimentario delle particelle sottili. I valori piú bassi sono quelli delle zone a batimetria inferiore (10-20 m), dove il maggior idrodinamismo favorisce la dispersione delle particelle piú sottili. Le maggiori concentrazioni di radionuclidi sono state riscontrate nelle zone a ridotto idrodinamismo (zone interne del Golfo di Gaeta), dove piú intensa   l'attivit  della pesca a strascico. Un rilievo particolare va fatto per la zona di elevata concentrazione dei due radionuclidi presente davanti alla foce del Garigliano e centrata sulla batimetria dei 50 metri. E' da tener presente che in quella zona non c'  mai stata dal dopoguerra ad oggi attivit  di pesca a strascico, per la presenza di numerosi relitti sommersi. Lo stesso fenomeno interessa anche la zona a poche miglia a Sud-Est del porto di Formia e quella a poche miglia a Sud della Punta di Gaeta. E' a nostro avviso corretto considerare dinamicamente l'ambiente della zona in esame, includendo tra le possibili cause della dispersione dei radionuclidi anche la presenza/assenza delle attivit  antropiche piú significative.

Complessivamente la zona interessata dalla contaminazione da ^{60}Co supera i 1100 km². La distribuzione verticale dei radionuclidi nei sedimenti interessa, a seconda delle zone, strati compresi tra la superficie e i 12-18 cm di profondit . Ci  corrisponde ad una elevata velocit  di sedimentazione nella zona in esame, anche se non si possono escludere altri fenomeni di migrazioni e di bioturbazioni negli strati interessati da una contaminazione. Simili osservazioni sono state raccolte, per altri radionuclidi, in parecchie zone delle coste italiane (La Spezia, La Maddalena, Latina). E' stata fatta una stima dell'inventario del ^{60}Co nei sedimenti della

zona in esame tenendo conto della distribuzione verticale del nuclide. L'inventario è di 3,2 Ci di ^{60}Co nei sedimenti al Settembre 1980. Questa attività rappresenta il 37,5 % di quella scaricata, cioè 8,54 Ci totali, corretti per il decadimento, dei 20,3 Ci scaricati dal 1965 al Giugno 1980. Il valore è in buon accordo con valutazioni effettuate per impianti analoghi ed in situazioni ambientali simili: 40 % ad Oyster Creek (9). Altri autori in situazioni completamente diverse, stimano valori sensibilmente differenti: 95 % a Humbolt Bay (5), 90 % a Perch Lake (10), 9 % a Chuck River (11). E' da notare che i sedimenti del Golfo di Gaeta presentano, anche in relazione ad altre zone delle coste italiane, concentrazioni di Co stabile notevolmente più elevate (3). Questo fenomeno permette di ipotizzare una maggiore diluizione isotopica del ^{60}Co , e quindi una attività nei sedimenti più bassa ed una più estesa diffusione spaziale del radionuclide.

La distribuzione del ^{137}Cs (Fig. 4) nei sedimenti ha un andamento analogo a quello già esaminato per il ^{60}Co . Ciò conferma la tendenza di questo radionuclide ad associarsi alle particelle sottili. Le attività misurate nei primi due centimetri di sedimento, nelle zone di massima concentrazione, corrispondono a circa 7 mCi/km^2 . Questo dato risulta più elevato di quello stimato da (7) per vari punti del Mediterraneo intorno a $3,3 \text{ mCi/km}^2$; da (8) per le Bocche di Bonifacio intorno a $3,7 \text{ mCi/km}^2$; da (4) nel sito di Latina, praticamente al confine Nord con la zona in esame, intorno a $3,6-4,1 \text{ mCi/km}^2$. Questo fa supporre un contributo non trascurabile dovuto all'esercizio dell'impianto. Inoltre, considerando una ricaduta di ^{137}Cs integrata e corretta per il decadimento al Settembre 1980 sul bacino del Mediterraneo (37° latitudine Nord) di 120 mCi/km^2 , il valore di 7 mCi/km^2 nei sedimenti corrisponde al 5 % della immissione totale.

L'analisi fattoriale delle corrispondenze ha prodotto delle note di intensità nel piano fattoriale relative alle diverse variabili considerate. Tali note sono state rappresentate nel piano dei due primi assi estratti, che trattengono complessivamente l'87 % della dispersione originale dei dati (Fig. 2). L'ampiezza dell'angolo formato dalle linee che collegano le opposte note di intensità di due variabili qualsiasi è in relazione inversa con la loro correlazione spaziale. I risultati dell'analisi multivariata ripropongono fedelmente conclusioni raggiunte sulle dispersioni spaziali dei radionuclidi. Le indagini preliminari sulla salinità superficiale hanno mostrato che le acque del Garigliano e del Volturno avevano una direzione Sud-Est/Nord-Ovest. Questi dati, corredati con i risultati sulla distribuzione spaziale

clude.
30.
8,54 Ci
965 al
ate per
ster
stima-
90 %
e i se-
tre zone
piú ele-
e diluizione
a ed una

un anda-
na la ten-
i. Le at-
e di massi-
lato risul-
terraneo
orno a
e Nord
pporre
to. Inol-
r il de-
latitudi-
corri-

delle
bili con-
primi
isper-
ato
iabili
iale.
onclu-
nda-
e acque
ord-
spaziale

dei radionuclidi nei sedimenti, suggeriscono che una delle zone maggiormente interessate alla contaminazione è quella interna al Golfo di Gaeta. I risultati confermano il ruolo di trattenimento svolto dalle praterie di fanerogame nei processi deposizionali del materiale sottile. Infatti le attività sono più elevate nei rizomi (50 pCi/kg fresco di ^{60}Co , 20 pCi/kg fresco di ^{137}Cs) rispetto alle foglie, dove questi valori sono dimezzati. Le attività di ^{60}Co nei pesci vanno da 10 pCi/kg fresco nel muggine a qualche pCi/kg fresco nei ghiozzi, triglie e sogliole. Le attività di ^{137}Cs nei pesci sono generalmente comparabili a quelle relative alle stesse specie prelevate lungo le coste italiane: circa 10 pCi/kg fresco per i pesci pelagici; minore di 5 pCi/kg fresco per i bentonici (5). I bivalvi (muscoli, telline) sono, fra gli organismi marini eduli, quelli che mostrano le relativamente più elevate attività di ^{60}Co (10 - 150 pCi/kg fresco nelle parti molli). L'attività di pesca delle telline è particolarmente intensa nella zona della foce del Garigliano. Nel fiume, specialmente nella sua parte terminale, si ritrovano in assoluto le più alte attività di ^{60}Co e di ^{137}Cs , in tutte le matrici.

Conclusioni

Nell'ambiente marino considerato la radioattività ambientale artificiale direttamente connessa con l'impianto elettronucleare è distribuita su un'area di almeno 1100 km². Da un punto di vista metodologico è da tener presente che nell'ambiente marino le zone di accumulo di molti radionuclidi sono essenzialmente quelle dove più rilevanti sono i fenomeni di sedimentazione delle particelle sottili: golfi, batimetriche tra i 40 e i 70 metri, zone rispettivamente interessate alle attività di mitilicoltura e di pesca. Per questo aspetto, sono le zone di maggior interesse radioprotezionistico per la valutazione delle dosi. E' a tali ambienti, quindi, che va dedicata particolare attenzione, più per restringere l'interesse alla sola fascia costiera dove spesso il forte idrodinamismo impedisce l'accumulo dei radionuclidi.

L'impostazione, quindi, delle campagne radioecologiche deve tener conto della variabilità ambientale, facendo ricorso a criteri mirati di campionamento, più che alla semplice maglia geometrica.

Bibliografia

- (1) ANSELMI, B., BENVEGNI, F., BRONDI, A., FERRETTI, O., 1979 - "Studi sui parametri geologici rilevanti al fine della contaminazione ambientale del territorio nazionale". CNEN RT/PROT (79) 14.
- (2) BENZECRI, J.P., 1973 - "L'analyse des Données. Tome I, La Taxonomie. Tome II, L'Analyse des Correspondances". Dunod, Paris.
- (3) BONIFORTI, R., 1980 - "Comunicazione personale".
- (4) BRUSCHI, A., LAVARELLO, O., PAPUCCI, C., RASO, G., RICCOMINI, M., SGORBINI, S., ZURLINI, G., 1980 - "Distribuzione dei radionuclidi nell'ambiente marino antistante la centrale di Latina". Atti del Simposio sulle "Metodologie Radiometriche e Radiochimiche nella Radioprotezione", Pavia, 28-29 Aprile 1980, pp. 127-134.
- (5) BRUSCHI, A., LAVARELLO, O., PAPUCCI, C., SGORBINI, S., 1980 - "Determinazione dei radionuclidi nell'ambiente marino del Golfo di La Spezia". Atti del Congresso "Aspetti Chimici delle Ricerche sul Mar Ligure", Società Italiana di Chimica, Genova, 27-28/2/1980. (In Stampa).
- (6) HEFT, R.E., PHILLIPS, W.A., RALSTON, H.R., STEELE, W.A., - 1973 "Radionuclide transport studies in the Humboldt Bay marine environment". Proc. Symp. Seattle, 1972 - IAEA, Vienna (1973), pp. 595.
- (7) LIVINGSTON, H.D., CASSO, S.A., BOWEN, V.T., BURKE, J.C., 1979 - "Soluble and particle-associated fallout radionuclides in Mediterranean water and sediments". Rapp. Comm. Int. Mer Médit., 25/26 (5): pp. 71-74.
- (8) NOSHKIN, V.E., BOWEN, V.T., 1973 - "Concentrations and distributions of long-lived fallout in open ocean sediments". In: "Radioactive Contamination of the Marine Environment". Proc. Symp., Seattle, 10-14/7/1972-IAEA/SM 158/54: pp. 671-686.
- (9) OLSEN, C.R., BISCAYE, P.E., SIMPSON, H.J., TRIER, R.M., KOSTYK, N., BOPP, R.F., LI, Y.H., 1980 - "Reactor-released Radionuclides and fine-grained Sediment Transport and Accumulation Patterns in Barnegat Bay, New Jersey and Adjacent Shelf Waters". Est. Coast. Mar. Sci., 10, pp. 119-142.
- (10) OPHEL, I.L., FRASER, C.D., 1973 - "The fate of cobalt-60 in natural freshwater ecosystem". Radionuclides in Ecosystems (NELSON, D.J., Ed.), USAEC, CONF., -710501.
- (11) PICKERING, R.J., CARRIGAN, P.H., Jr., TAMURA, T., ABEE, H.H., BEVERAGE, J.W., ANDREW, R.W., Jr., 1966 - "Radioactivity in bottom sediments of the Chuck and Tennessee Rivers" Disposal of Radioactive Wastes into Seas, Oceans and Surface Waters (Proc. Symp., Vienna), IAEA, Vienna, pp 57.

TI, O., 1979 -
 minazione am-
) 14.
 , La Taxonomie.

G., RICCOMINI, M.,
 radionuclidi nell'am-
 nposio sulle "Meto-
 ne", Pavia, 28-29

INI, S., 1980 -
 Golfo di La Spezia".
 Ligure", Società

LE, W.A., - 1973
 environment".

LE, J.C., 1979 -
 Mediterranean water
 p. 71-74.

d distributions
 ive Contamination
 /1972-IAEA/SM

R.M.,
 ased Radionuclidi-
 terns in Barne-
 Mar. Sci.,

in natural
 N, D.J., Ed.),

EE, H.H.,
 ty in bottom
 ioactive Wa-
 nna), IAEA,

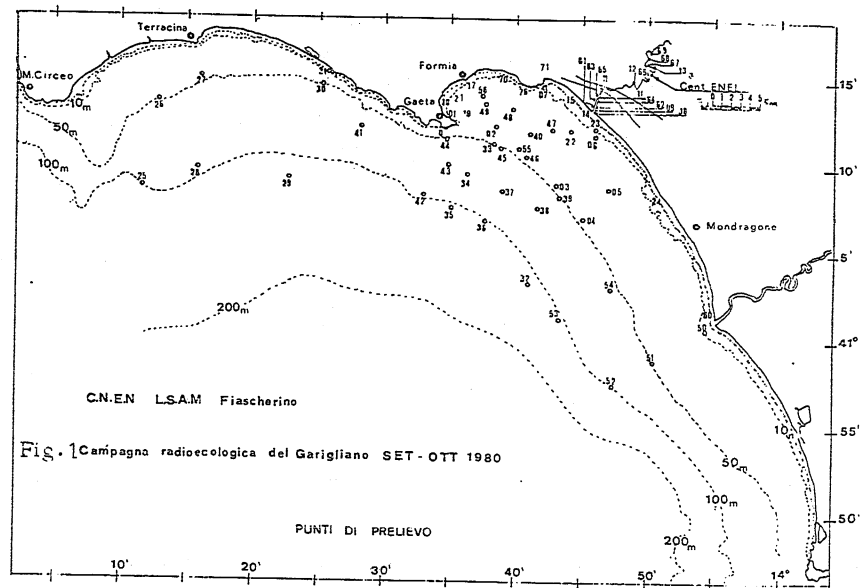


Fig. 1 Campagna radioecologica del Garigliano SET-OTT 1980

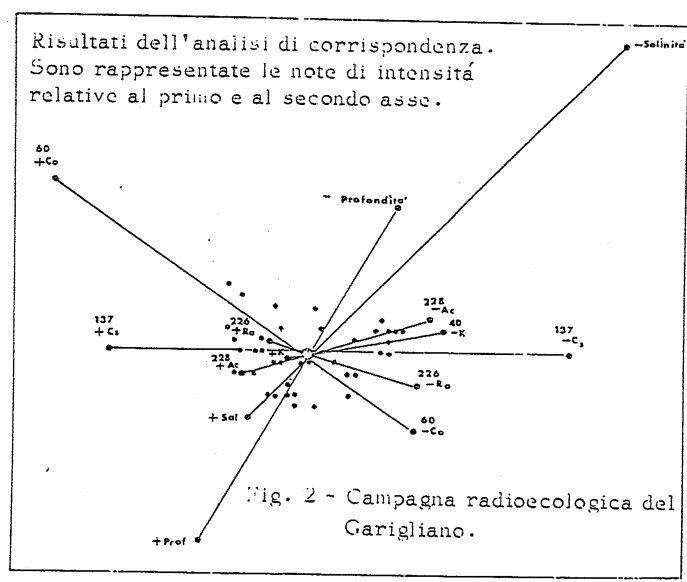


Fig. 2 - Campagna radioecologica del Garigliano.

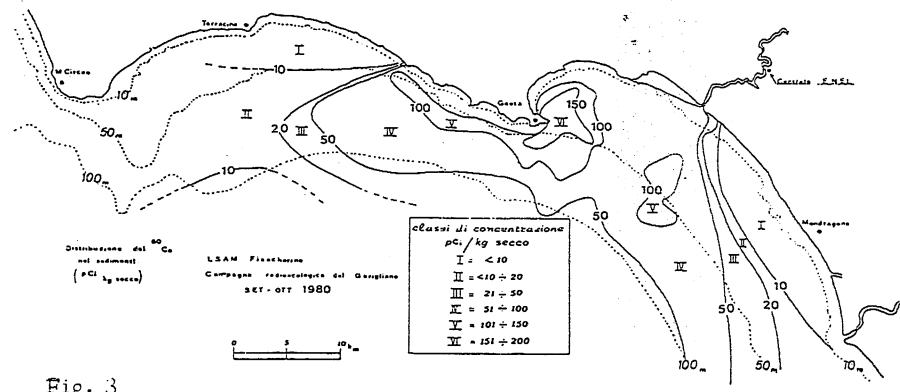


Fig. 3

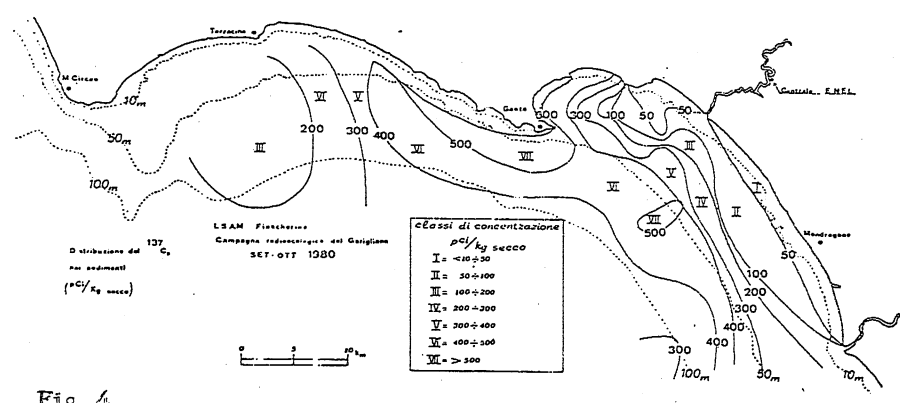


Fig. 4